



TITLE:

# <論文>木材の水蒸気加熱膨化処理 とその腐朽促進効果

AUTHOR(S):

綾木, 光弘; 高橋, 旨象; 西本, 孝一

---

CITATION:

綾木, 光弘 ...[et al]. <論文>木材の水蒸気加熱膨化処理とその腐朽促進効果. 木材研究・資料 1983, 18: 66-80

ISSUE DATE:

1983-12-24

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/51563>

RIGHT:

## 木材の水蒸気加熱膨化処理とその腐朽促進効果\*

綾木 光弘\*\*, 高橋 旨象\*\*\*, 西本 孝一\*\*\*

Puff-Cooking Treatment of Wood and Its Acceleration of Wood Decay

Mitsuhiro AYAKI\*\*, Munezoh TAKAHASHI\*\*\* and Koichi NISHIMOTO\*\*\*

### Abstract

Effect of puff-cooking treatment on wood was investigated for the resulting acceleration of wood decay and various chemical changes. This treatment has been successfully used as the pretreatment of grain for production of soya-sauce.

Wafers and meal of beech (*Fagus crenata* BLUME) and pine (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) heartwood were treated and exposed to fungal attack using each two species of brown-rot- and white-rot fungi. Five treating conditions were employed: 4 (kg/cm<sup>2</sup>)-20 (min), 4-60, 8-20, 8-60 and 12-60.

At 4-8 (kg/cm<sup>2</sup>) treatments, increase of alcohol-benzene (only in beech) and 1 % sodium hydroxide soluble fractions, decrease of  $\gamma$ -cellulose, and increase of molecular weight of holocellulose were demonstrated. At 12 kg/m<sup>2</sup> treatment, increase of  $\alpha$ -cellulose/holocellulose ratio and decrease of molecular weight of holocellulose and lignin content were proved. Acceleration of decay was found in some combinations of wood and fungus, especially in *Gloeophyllum trabeum* and the two wood species. The acceleration occurred at all treating conditions but more greatly at light or medium treating conditions. It was enhanced markedly in pine wood meal. This treatment was considered to be promising for an utilization of wood waste.

### 摘 要

醤油原料の発酵促進に利用されている水蒸気加熱膨化処理 (Puff-Cooking, PC 処理と略記) が, 残廃材の腐朽菌による分解促進の前処理として有効であるかを検討した。

ブナおよびアカマツの心材から採取した木片ならびに木粉に, 4 kg/cm<sup>2</sup>-20分 から 12 kg/cm<sup>2</sup>-60分までの5段階の処理を行なった。この処理木材に4種の腐朽菌を作用させ, 重量減少率の比較から腐朽促進効果を検討するとともに, 各種化学成分の分析を行なった。

\* 本報告の一部は第28回日本木材学会大会 (1978年4月, 名古屋) において発表した。

\*\* 現在神崎製紙株式会社 (Kanzaki Paper Manufacturing Co. Ltd., Amagasaki, Hyogo, Japan)

\*\*\* 木材防腐防虫実験施設 (Research Facility for Wood Protection)

軽度ならびに中程度（4～8 kg/cm<sup>2</sup>）の PC 処理では、アルコール・ベンゼン可溶成分の増加（ブナ材のみ）、1 %水酸化ナトリウム可溶成分の増加、 $\gamma$ -セルロースの減少、ホロセルロース分子量の増大があり、処理が苛酷になると、同分子量の低下、ホロセルロース中の  $\alpha$ -セルロース構成比の増大、リグニンの減少等が認められた。いくつかの樹種—供試菌の組合せについては腐朽促進効果があった。その効果は軽度の PC 処理段階から現われることが多く、無処理材に対する腐朽力が比較的低い腐朽菌で顕著であった。木粉では木片より高い重量減少率が得られ、PC 処理は難腐朽性の針葉樹木粉の腐朽促進の前処理として有用であると考えられた。

## 1. 緒 言

残廃材の利用は集約的な排出や集荷に問題を残してはいるが、その用途は近年ますます多岐にわたっている。木材糖化をはじめとする残廃材からのウッドケミカルズの生産は、最近のバイオテクノロジーの急速な発展を背景に各方面で盛んに研究されている。しかし、セルラーゼなどの酵素製剤を用いて残廃材から生産されるグルコースや、それを利用して作られるエタノールは、種々の経済的要因から、現在では必ずしも付加価値の高いものとはいえない<sup>1)</sup>。残廃材の排出が広域にわたり、集中度が低い<sup>2)</sup> わが国では、地域的な肥料、土壌改良剤、飼料への利用や、公害を及ぼさない焼却以外の早期分解廃棄処理も依然として考慮しなければならない問題であろう。

木材は高次の結晶構造を持ったセルロースや難分解性のリグニンで構成されているため、木材糖化の場合はもちろん、肥料や飼料化、あるいは廃棄する場合もそのままでは効率が悪く、セルラーゼや微生物の攻撃を受けやすい形にかえる何らかの前処理の必要性が早くから指摘されてきた。木材の酵素糖化のための前処理には種々の方法があり、本誌17号に東らにより詳述されている<sup>3)</sup>。その一つである高温高圧下での蒸煮と大気圧下への急速な放出爆砕を原理とした爆砕法は、木材糖化の効果的な前処理法としてカナダではすでに実用化されている<sup>3,4)</sup>。この爆砕法ほど高温高圧を必要としない穀類膨化用の puff-cooking 処理（以下 PC 処理と略記）を行なった木材に腐朽菌を作用させると、腐朽促進効果が認められることが西沢らにより報告された<sup>5)</sup>。この報告は残廃材の肥料・飼料化の前処理法としての PC 処理の可能性を示唆したものであるが、促進効果発現の詳細な条件や促進の原因は明らかにされていない。そこで本報では、種々の段階に PC 処理を行なった木材試料に数種の腐朽菌を作用させ、腐朽促進効果出現の様相を比較検討するとともに、化学的な見地から腐朽促進の原因を考察した。

## 2. 実 験 方 法

### 2.1 水蒸気加熱膨化処理 (PC) 処理

キッコーマン醤油株式会社中央研究所の実験室用小型回分式装置を用いた。加熱室は直径 12 cm、長さ 20 cm で、多孔板円筒横置の電動回転式である (Fig. 1)。処理条件は以下の 5 段階とした。

- i. 4 kg/cm<sup>2</sup>, 151°C～20分
- ii. 4 kg/cm<sup>2</sup>, 151°C～60分
- iii. 8 kg/cm<sup>2</sup>, 175°C～20分
- iv. 8 kg/cm<sup>2</sup>, 175°C～60分
- v. 12 kg/cm<sup>2</sup>, 191°C～60分

### 2.2 木 材 試 料

アカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) およびブナ (*Fagus crenata* Blume) の直径 40 cm の丸太の心材中央部より採取した。木片寸法は 3 (T) × 20 (R) × 30 (L) (mm) とし、木粉は 40～80 ムッシュに調整した。比較のためにセルロース粉末 (半井化学, 60～80 ムッシュ) を用いた。試料含水率は PC 処理前に

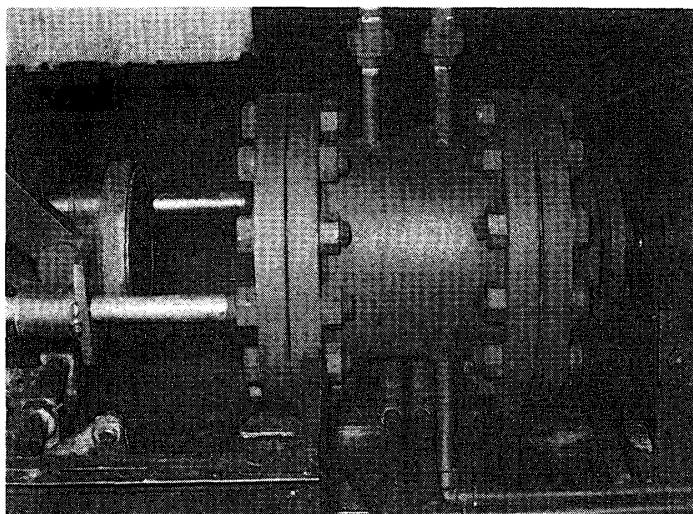


Fig. 1. Puff-cooking apparatus used.

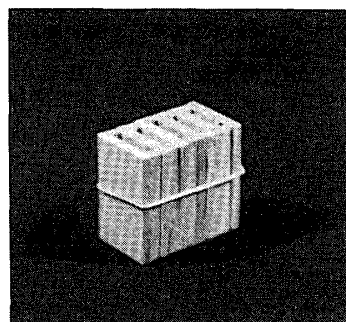


Fig. 2. Binding of wood blocks for decay test.

Table 1. Fungi used in the experiment.

Fungus	Rot-type	Strain*
<i>Coriolus versicolor</i> (L. ex Fr.) Quél.	white-rot	IFO-8754
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Pers. ex Fr.) Murr.	brown-rot	IFO-6268
<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bond. et Sing.	white-rot	FES-Pslh
<i>Tyromyces palustris</i> (Berk. et Curt.) Murr.	brown-rot	IFO-6137

\* Accession number, IFO: Institute for Fermentations, Osaka, Japan.  
FES: Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Ibaragi, Japan.

いずれも約9%に調整した。

### 2.3 供試木材腐朽菌

Table 1 に示す4種を用いた。

### 2.4 腐朽操作

木片の腐朽操作は JIS Z-2119-1976 (木材の耐朽性試験方法) に準じて行なった。木片は PC 処理の最終段階で大気圧下に放出される際器内で激しく衝突し、欠損や割れを生ずることがあるが、腐朽試験には正常な形状を保っているもののみを用いた。木片は6枚を1組とし、Fig. 2 に示すように間にマッチ軸を介してビニールひもで束ね、2組を1本の培養瓶に木口面を下にして設置した。木片の数は1条件当り48枚とし、培養瓶4本を使用した。腐朽期間は 28°C で50日および70日間とした。

木粉およびセルロース粉末の腐朽はペトリ皿 (直径 9 cm) 内の寒天培地で行なった。すなわち、木片の腐朽に用いたものと同じ組成の培養液に寒天2%を加え、溶解、固化させたのち培地表面に試料 5 g を均一に分散させ、供試菌を接種した。1条件当り3枚のペトリ皿を用い、28°C、50日間腐朽菌を作用させた。

### 2.5 PC 処理および腐朽試料の化学分析

PC 処理および腐朽操作終了後の木片を40~80メッシュに粉砕し、以下の分析を行なった。

#### 2.5.1 アルコール・ベンゼン可溶成分: JIS P-8010-1961 により行なった。

- 2.5.2 1%水酸化ナトリウム可溶成分：JIS P-8006-1959 により行なった。  
 2.5.3 ホロセルロースならびに $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ セルロース：JIS P-8012-1962 により行なった。  
 2.5.4 リグニン：JIS P-8008-1961 により行なった。  
 2.5.5 ホロセルロースの分子量：モノエタノールアミン法で採取した PC 処理および50日腐朽材のホロ

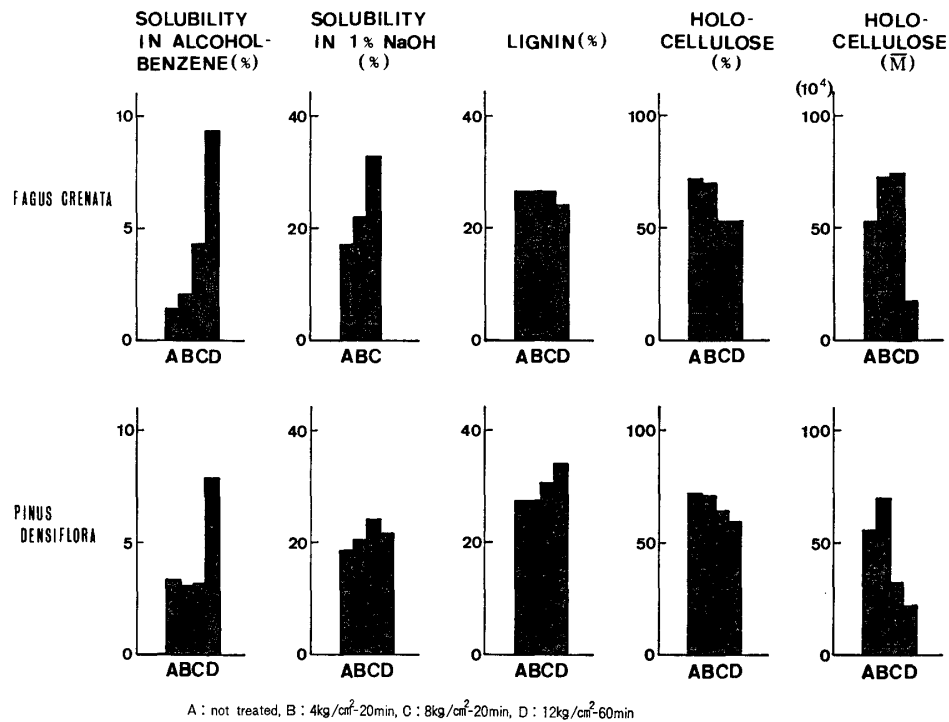


Fig. 3. Contents of chemical components and molecular weight of holocellulose in PC-treated wood blocks.

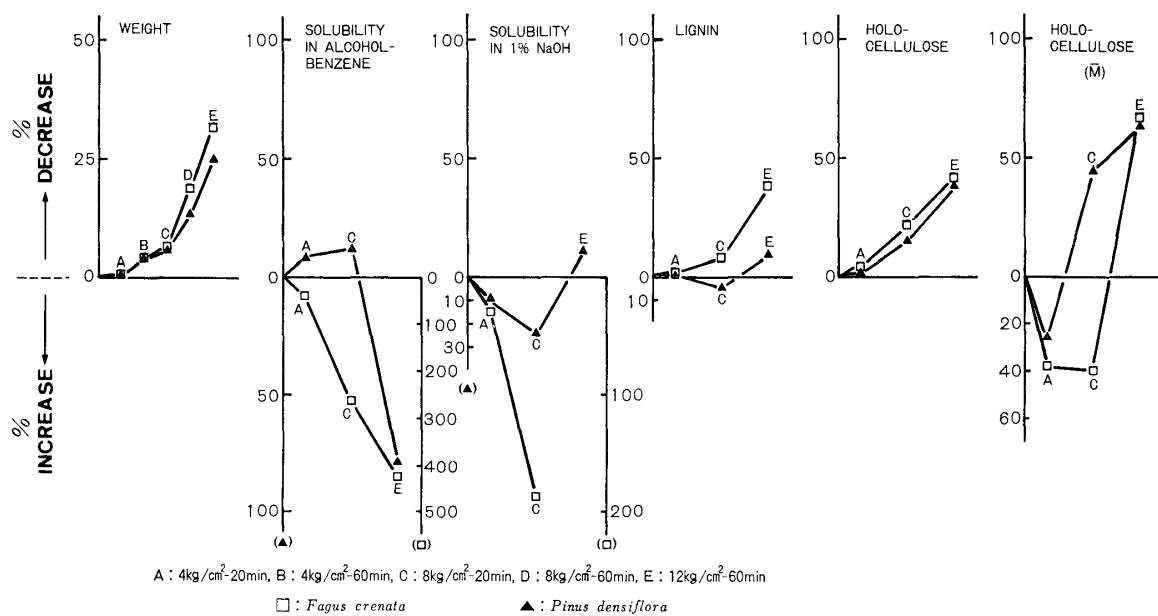


Fig. 4. Chemical changes in PC-treated wood block in comparison with non-treated wood.

セルロースについて行なった。試料はまずミッCHEL混酸により 0°C で 60 分ニトロ化した。このニトロホロセルロースをアセトンに溶解し、再析出により精製した。これを酢酸エチルで溶解し、京大式ウベローデ型粘度計により  $30 \pm 0.05^\circ\text{C}$  で粘度を測定した。分子量は DEBYE<sup>6)</sup> に従って  $a=1.01$ ,  $K \times 10^5=2.50$  により計算した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 PC 処理による木材の化学的变化

PC 処理を受けたブナおよびアカマツ木材片の、処理材を基準とした各種成分含有率とホロセルロース分子量を Fig. 3 に示した。また Fig. 4 にはこれらの変化の様相を無処理材を基準として示した。ブナ、アカマツ両材とも  $4 \text{ kg/cm}^2$ —20分 という軽度の処理では重量はほとんど減少しないが、処理が苛酷になるにつれ減少がみられた。 $4 \text{ kg/cm}^2$ —60分,  $8 \text{ kg/cm}^2$ —20分までは両材とも同様の減少傾向を示したが、それ以降はブナ材の方が減少が大きく、 $12 \text{ kg/cm}^2$ —60分 では 30% 以上に達した。

両材とも  $12 \text{ kg/cm}^2$ —60分処理材ではアルコール・ベンゼン可溶成分の含有率が著しく高いが、ブナ材では処理全般を通じて増加がみられるのに対し、アカマツ材では軽い処理段階ではやや減少し、その後急激に増加した。一般にアルコール・ベンゼン可溶成分はロウ、脂肪、樹脂およびある種のエーテル不溶成分(木質ゴムおよび水溶成分の一部)を含んでいる<sup>7)</sup>。処理による多孔質化等の木材の構造変化により、これら成分が抽出されやすくなる可能性はあっても、そのみではこのような著しい増加を説明できない。本研究ではアルコール・ベンゼン可溶成分の内容について調べていないが、ヘミセルロースの加水分解物が含まれている可能性があり、今後の検討に待ちたい。

1%水酸化ナトリウム可溶成分は、 $4 \text{ kg/cm}^2$ —20分,  $8 \text{ kg/cm}^2$ —20分の処理では両材とも増加し、ブナにおける増加がとくに顕著であった。熱アルカリ抽出ではリグニンやヘミセルロースの一部も、冷水、熱水、アルコール・ベンゼンに可溶な成分とともに抽出される<sup>7)</sup>。両材とも  $8 \text{ kg/cm}^2$ —20分の処理まではリグニンの減少が少ないので、これらアルカリ可溶成分の増加は大部分ヘミセルロースの分解によるものであろう。

アカマツでは PC 処理材のリグニン含有率が次第に上昇するが、無処理材を基準にすると処理による変化は少なく、重量減少の大部分をホロセルロースの減少が占めている。一方ブナでは PC 処理材のリグニン含有率は上昇せず、リグニンとホロセルロース双方の減少が重量減少に関与している。このように広葉樹材にくらべ針葉樹材のリグニンが処理の影響を受けにくいことは、前述のカナダで開発された爆砕処理でも

Table 2. Content of holocellulose and  $\alpha$ -,  $\beta$ -, and  $\gamma$ -celluloses in PC-treated wood blocks.

Wood	Cellulose	% Content (ratio)			
		none	PC-treatment kg/cm <sup>2</sup> -min		
			4-20	8-20	12-60
<i>Fagus crenata</i>	holocellulose	73.2 (100)	70.4 (100)	61.6 (100)	63.4 (100)
	$\alpha$ -cellulose	43.0 ( 59)	42.7 ( 61)	46.7 ( 76)	53.6 ( 85)
	$\beta$ -cellulose	2.4 ( 3)	0.6 ( 0)	1.3 ( 2)	6.1 ( 10)
	$\gamma$ -cellulose	27.8 ( 38)	27.1 ( 39)	13.7 ( 22)	3.7 ( 5)
<i>Pinus densiflora</i>	holocellulose	70.7 (100)	70.4 (100)	64.0 (100)	58.8 (100)
	$\alpha$ -cellulose	41.2 ( 58)	45.5 ( 65)	34.7 ( 54)	48.0 ( 82)
	$\beta$ -cellulose	0.9 ( 2)	0.3 ( 0)	13.0 ( 21)	4.7 ( 8)
	$\gamma$ -cellulose	28.6 ( 40)	24.6 ( 35)	16.3 ( 25)	6.1 ( 10)

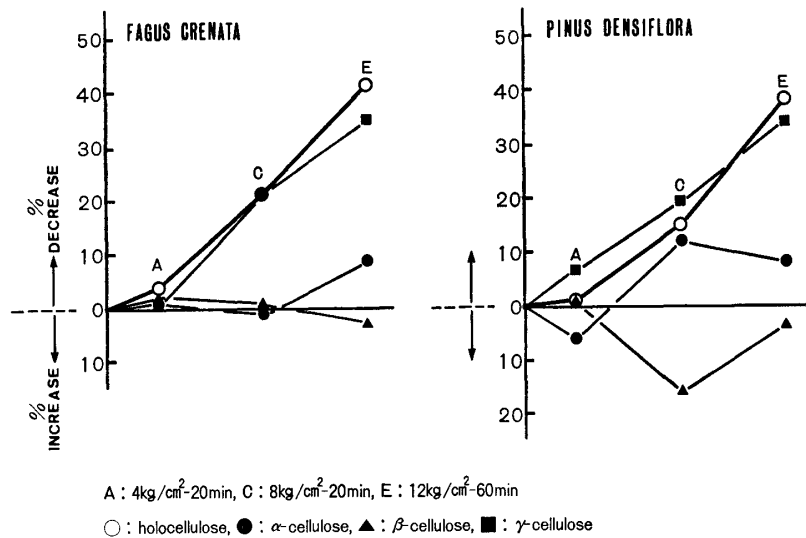


Fig. 5. Changes of cellulose content in PC-treated wood blocks in comparison with non-treated wood.

指摘されており<sup>3,4)</sup>、今後の課題であらう。

ホロセルロースの分子量はブナ、アカマツ両材とも軽度の処理では増大するが、苛酷な処理では著しく減少した。中程度の処理（8 kg/cm<sup>2</sup>—20分）でもアカマツでは分子量が大きく低下したが、ブナではわずかながら増大の傾向がなお続いていた。ホロセルロースはアルカリに対する溶解度で $\alpha$ -、 $\beta$ -および $\gamma$ -セルロースに分けられる。 $\alpha$ -セルロースにはセルロースと一部抵抗性のヘミセルロースが含まれる。ヘミセルロースの大部分は $\beta$ -および $\gamma$ -セルロース中に含まれる<sup>7)</sup>。Table 2. に各 PC処理材のホロセルロース構成を、Fig. 5 に無処理材を基準とした場合の処理による変化を示した。ブナ、アカマツとも無処理材では $\alpha$ -セルロースが60%、 $\gamma$ -セルロースが40%近くとホロセルロースの大部分を占め、 $\beta$ -セルロースはごくわずかであった。両材とも $\gamma$ -セルロースは処理の苛酷化ともなって著しく減少したが、 $\alpha$ -セルロースの減少はあまり大きくなく、12 kg/cm<sup>2</sup>—60分処理材ではホロセルロース中の $\alpha$ -セルロース構成比がともに80%以上に達した。ブナ材では軽・中度の処理段階では $\alpha$ -および $\beta$ -セルロースの変化がとくに少なく、ホロセルロース減少の大部分を $\gamma$ -セルロースの減少が占め、12 kg/cm<sup>2</sup>—60分処理ではじめて $\alpha$ -セルロースの減少が顕著に認められた。一方アカマツでは軽・中度の処理段階から $\alpha$ -、 $\beta$ -セルロースの変化がブナより大きく、4 kg/cm<sup>2</sup>—20分では $\alpha$ -セルロース、8 kg/cm<sup>2</sup>—20分では $\beta$ -セルロースの増加により、ホロセルロース全体の減少はブナより少ない。最近棚橋ら<sup>8)</sup>は、爆砕処理（12~28 kg/cm<sup>2</sup>、1~16分）を行なったシラカバとカラマツでは、セルロースの結晶領域とミセル幅が増加することを報告した。彼等はその原因がセルロース非晶領域の結晶領域への変換によるものであると述べているが、PC処理においても同じ現象が起り、それが $\alpha$ -セルロースの増加と関連しているのかもしれない。しかし、 $\alpha$ -セルロース含有率が高い12 kg/cm<sup>2</sup>—60分処理材でもホロセルロースの分子量が著しく低下しているの、セルロースの構造にも全体としては低分子化が起っていると考えられる。同様に軽・中度の処理におけるホロセルロース分子量の変化を $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -セルロースの構成比のみで説明することは困難であり、処理過程における再重合や縮重合等の副反応発生面の検討が必要であらう。しかし1%水酸化ナトリウム可溶成分の増加や $\gamma$ -セルロースの著しい減少から、PC処理においてはヘミセルロースの減少と質的变化が重要な部分を占めていることは明らかである。

### 3.2 PC 処理木材に対する腐朽菌の作用

#### 3.2.1 処理による木材片の腐朽促進：PC 処理木材片の腐朽による重量減少率を処理段階ごとに比較し

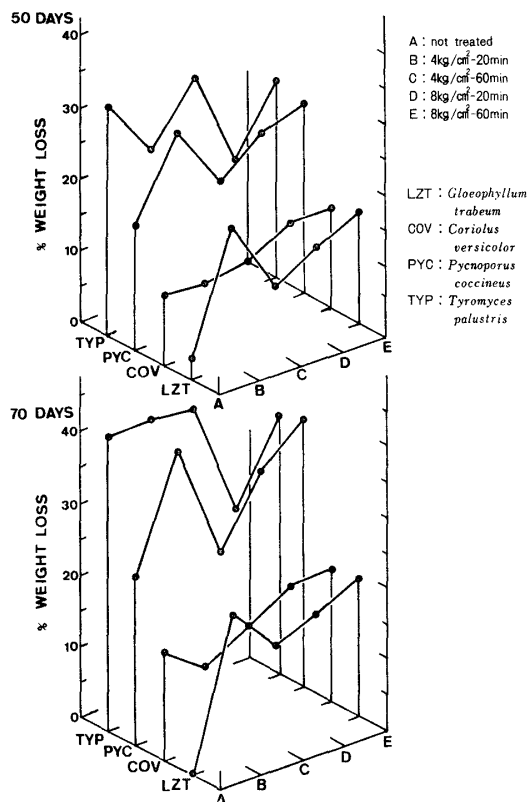


Fig. 6. Weight losses in PC-treated wood blocks of *Fagus crenata* after exposure to fungal attack.

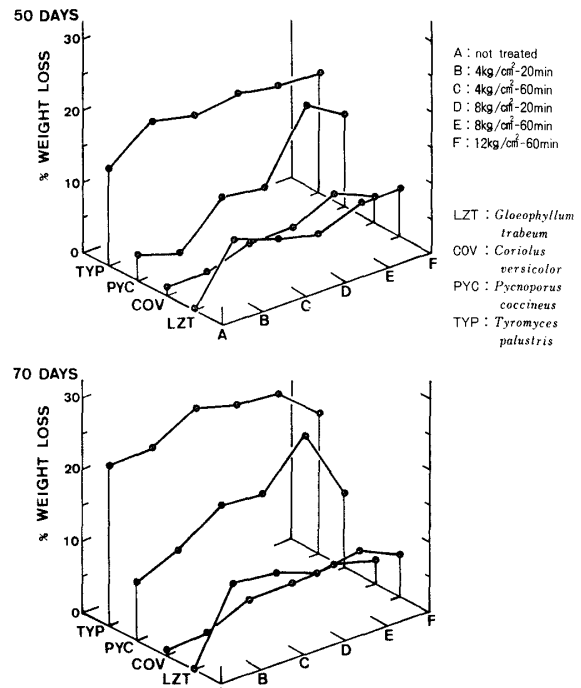


Fig. 7. Weight losses in PC-treated wood blocks of *Pinus densiflora* after exposure to fungal attack.

た結果を Fig. 6 (ブナ) および Fig. 7 (アカマツ) に示した。ブナ、アカマツ両材とも腐朽期間 (50日および70日) による傾向の相違はなかった。ブナの場合、無処理材との比較から腐朽促進効果がもっとも大きかったのは LZT (*Gloeophyllum trabeum*) であり、どの処理段階でも効果が認められた。PYC (*Pycnoporus coccineus*) では 4 kg/cm<sup>2</sup>-20分, 8-20, 8-60の処理材で促進効果があった。COV (*Coriolus versicolor*) と TYP (*Tyromyces palustris*) ではいずれの処理段階でも効果が認められなかった。TYP のように無処理材に高い腐朽力を示すものでは、処理により逆に腐朽しにくくなる場合があった。アカマツにおいても、LZT においては全処理段階で促進効果が認められた。COV と PYC でも 4-60以降の処理段階で若干の促進効果があった。TYP はブナと同様にどの処理段階でも効果がなく、無処理材より腐朽しにくい場合があった。これらの結果をまとめると以下になる。

- ④ 無処理材に対する腐朽力が低いものは PC 処理による腐朽促進効果が顕著である。
- ⑤ 無処理材の腐朽力が比較的高い場合は処理による腐朽促進効果がでない。
- ⑥ 腐朽促進効果は軽度の PC 処理段階から現われることが多く、必ずしも処理の程度には比例しない。

3.2.2 PC 処理木材片の腐朽による化学成分の変化：各 PC 処理の無接種材を基準にして、アルコール・ベンゼン可溶成分、1%水酸化ナトリウム可溶成分、リグニンおよびホロセルロースの含有率と、ホロセルロース分子量の腐朽菌作用後の変化を供試菌一樹種の組合せごとに示した (Figs. 8~15)。各図にはこれら変化との対応のため、Figs. 6, 7 で示した腐朽による重量減少率を再度示した。また Figs. 16, 17 にはホロセルロース構成成分の変化を示した。

重量減少率の場合と同様に、腐朽による化学的変化の様相には腐朽期間による相違がほとんどなかった。



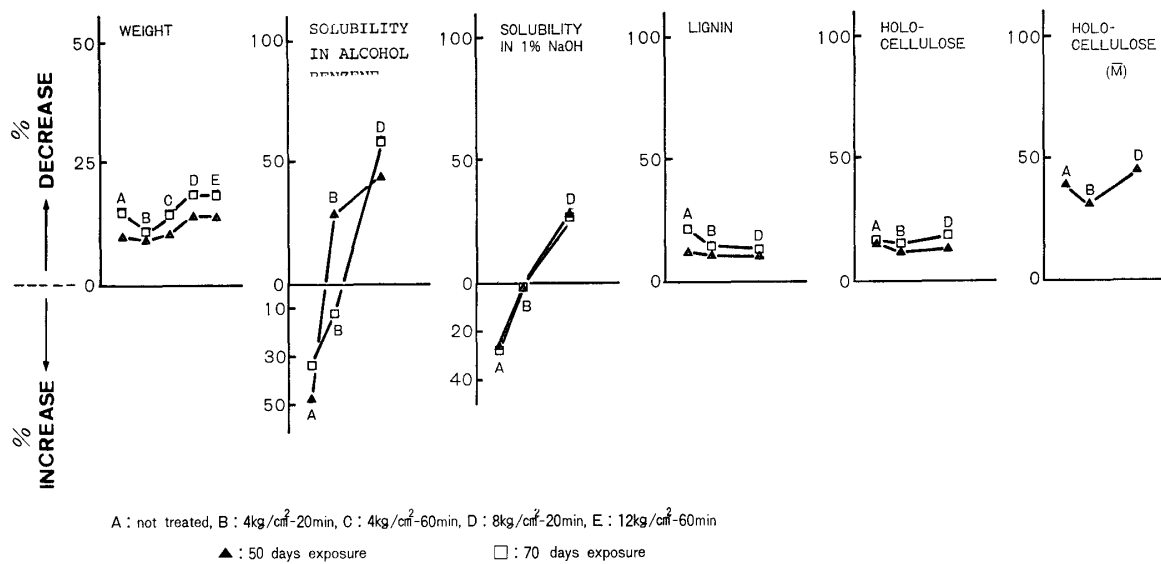


Fig. 8. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Fagus crenata* after exposure to decay fungus *Coriolus versicolor* in comparison with non-inoculated wood.

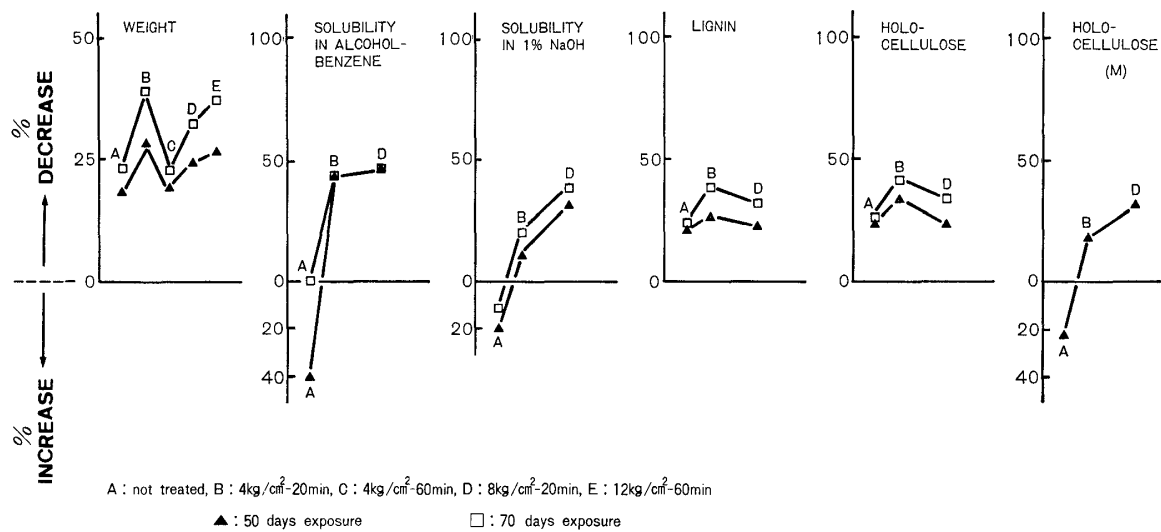


Fig. 9. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Fagus crenata* after exposure to decay fungus *Pycoporus coccineus* in comparison with non-inoculated wood.

(a) ブナ材における変化：無処理材ではほとんどの腐朽材でアルコール・ベンゼン可溶成分が増加し、とくに TYP 腐朽材で顕著であった。TYP の場合 4 (kg/cm<sup>2</sup>) -20 (分) 処理材でも同成分の増加が大きい。8-20 処理材のアルコール・ベンゼン可溶成分は、褐色腐朽菌の TYP と LZT では腐朽後も変化がないかわずかに減少するのみであるが、白色腐朽菌の COV と PYC では 50% 近く減少した。このように褐色腐朽材のアルコール・ベンゼン可溶成分含有率が白色腐朽材より高くなることは、多くの研究者により報告されており<sup>9,10,11)</sup>、PC 処理材の場合も同様であった。1% 水酸化ナトリウム可溶成分は無処理材ではすべての腐朽材で増加し、4-20 処理材でも PYC 以外で増加が認められた。褐色腐朽材では同成分の増加がとくに大きいことが一般に認められており、本研究でも同様の結果が得られた。無処理腐朽材のアルカリ可溶成分の増加は主としてヘミセルロースの分解に起因するが、リグニンの分解も程度関与している<sup>11)</sup>。

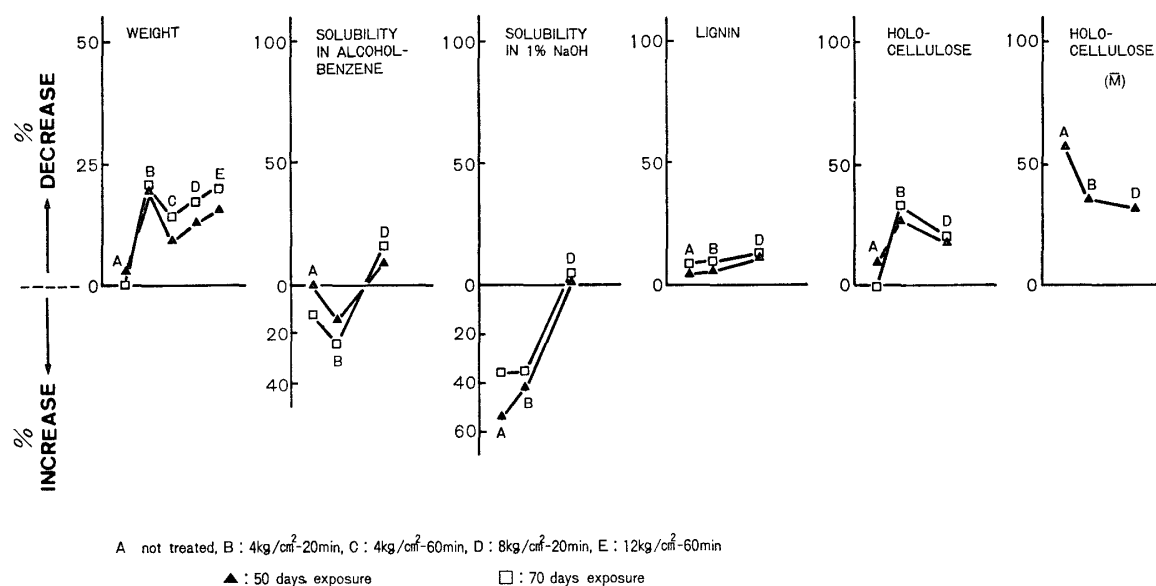


Fig. 10. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Fagus crenata* after exposure to decay fungus *Gloeophyllum trabeum* in comparison with non-inoculated wood.

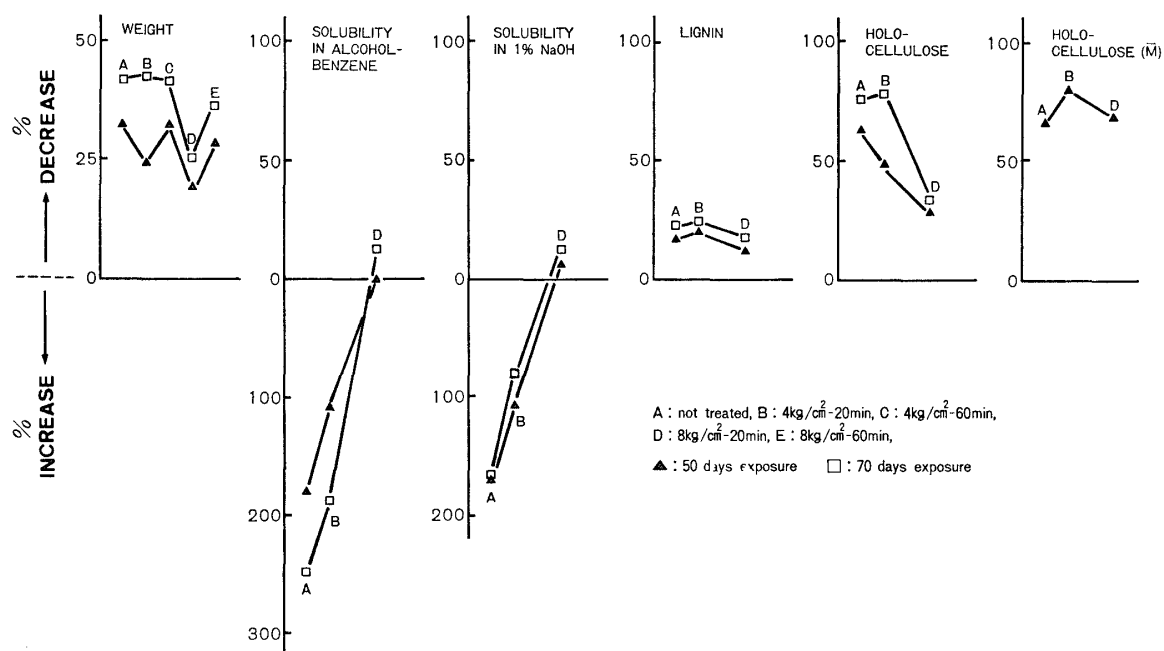


Fig. 11. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Fagus crenata* after exposure to decay fungus *Tyromyces palustris* in comparison with non-inoculated wood.

無処理材や PC 処理によるホロセルロースの減少が少ない 4—20 処理材について、リグニンとホロセルロースの腐朽による減少率を各菌ごとに比較すると、白色腐朽菌 (COV, PYC) では両者の減少率がほぼ等しいが、褐色腐朽菌 (LZT, TYP) ではホロセルロースの減少がリグニンの減少を大きく上まわり、これが褐色腐朽材のアルカリ可溶成分増加の原因であると考えられる。しかし無接種材の同成分含有率が高い 8—20 処理材においては、褐色腐朽材の場合ほとんど変化がないかわずかに減少しているのに対し、白色腐朽

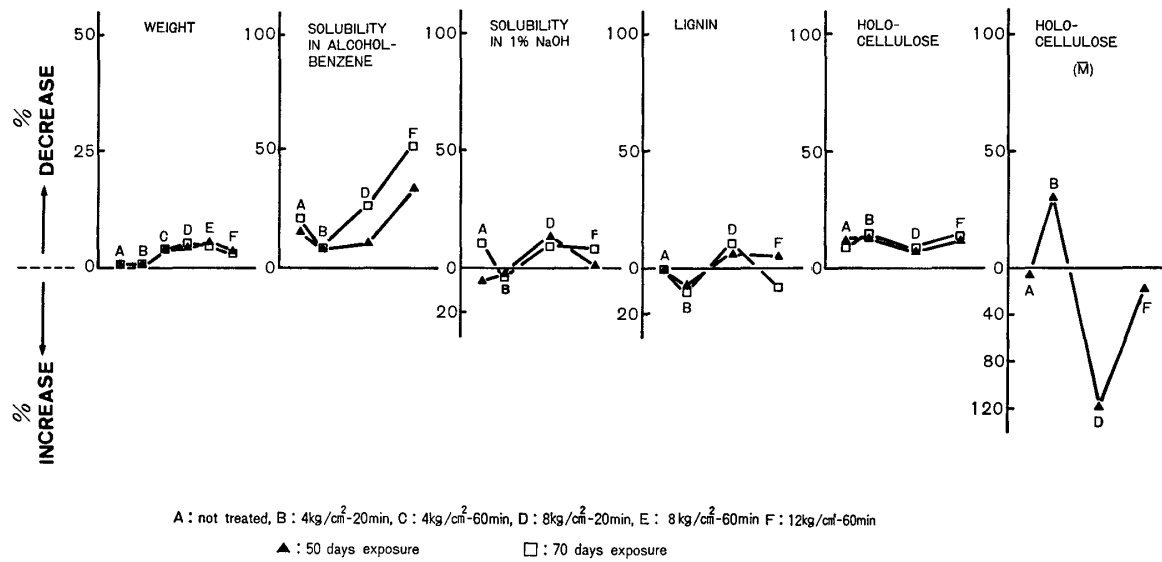


Fig. 12. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Pinus densiflora* after exposure to decay fungus *Coriolus versicolor* in comparison with non-inoculated wood.

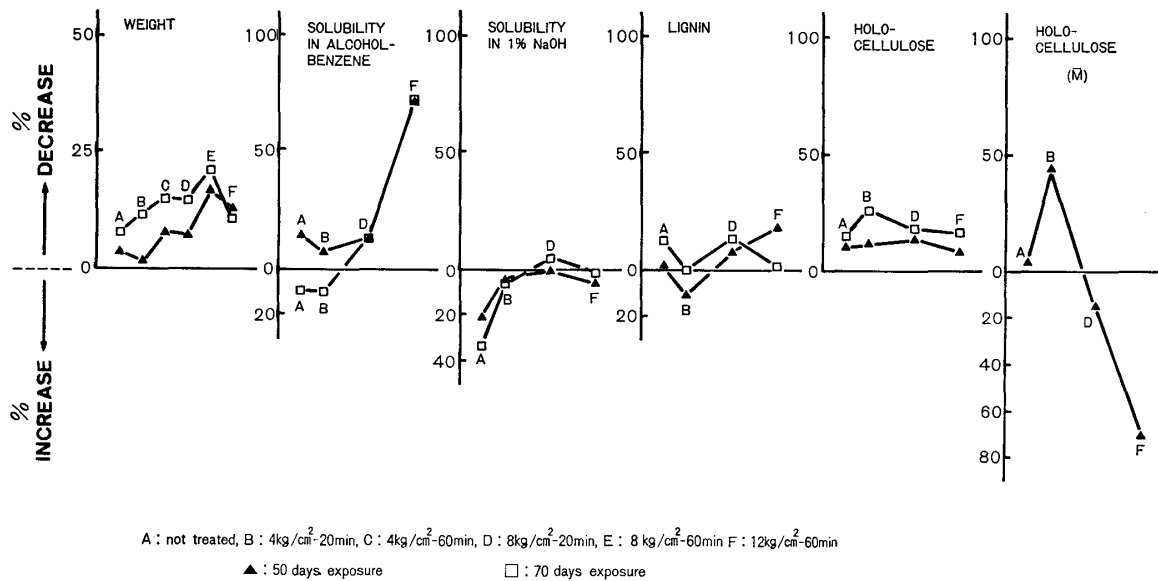


Fig. 13. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Pinus densiflora* after exposure to decay fungus *Pycnoporus coccineus* in comparison with non-inoculated wood.

材ではその減少が顕著であった。Fig 5 に示したように、8—20 処理材では  $\gamma$ -セルロースがかなり減少しているため、腐朽による  $\gamma$ -セルロースの分解も少ないこと、また PC 処理により増加したアルカリ可溶成分を腐朽菌が分解・利用し、この消費量が生産量とほぼ等しいかあるいは上まわるため、8—20 処理材では腐朽後もアルカリ可溶成分の増加が起らないのであろう。ブナ材では  $\beta$ -セルロースの絶対量は PC 処理によってもほとんど変化がないが (Fig. 5), 腐朽後はいずれも絶対量が増加し、 $\alpha$ - および  $\gamma$ -セルロースの減少が加わるため残存ホロセルロースにおける  $\beta$ -セルロースの比率が上昇した。これは褐色腐朽材でとくに著しく、TYP 腐朽材では常に  $\alpha$ -セルロースを上まわり、ホロセルロース中最大の比率を占めた。ホロ

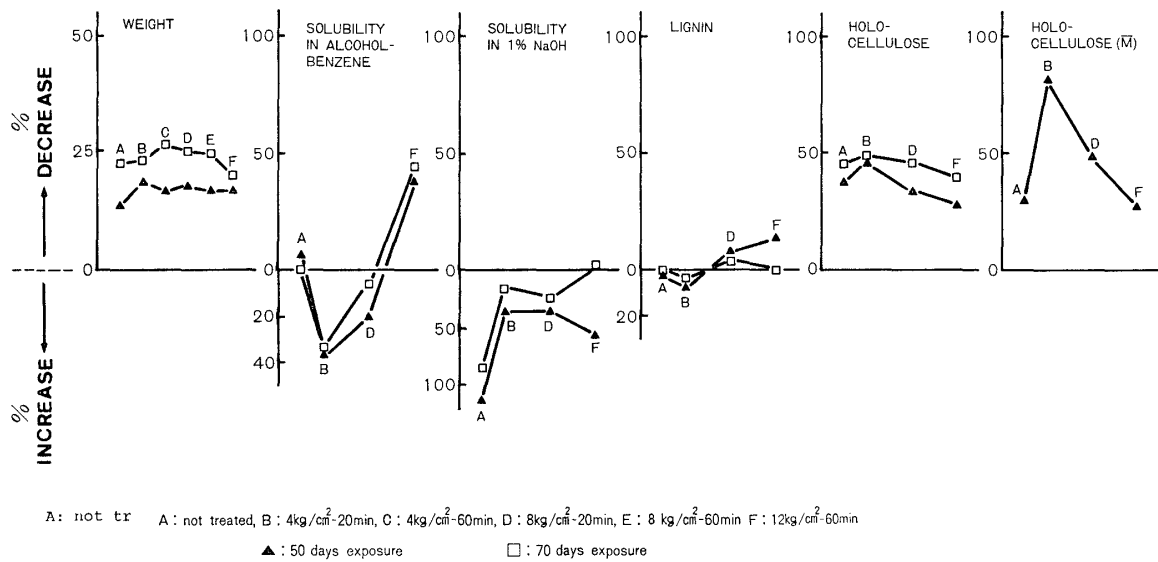


Fig. 14. Chemical changes in PC-treated wood bloccks of *Pinus densiflora* after exposure to decay fungus *Tyromyces palustris* in comparison with non-inoculated wood.

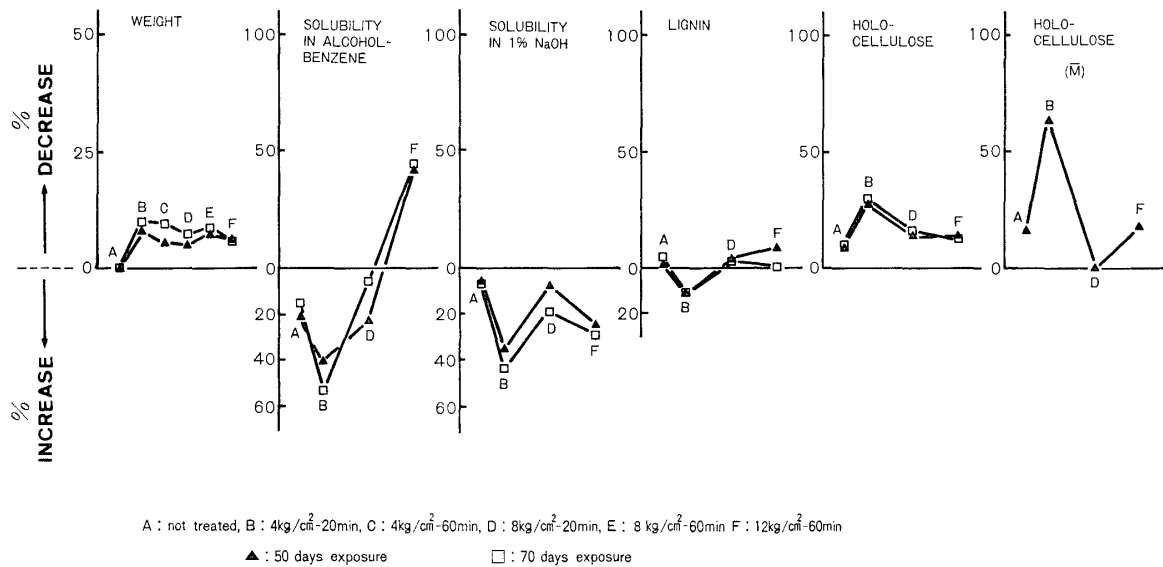


Fig. 15. Chemical changes in PC-treated wood blocks of *Pinus densiflora* after exposure to decay fungus *Gloeophyllum trabeum* in comparison with non-inoculated wood.

セルロース分子量は PYC の無処理腐朽材を除いていずれも低下した。Fig. 4 に示したように、ブナ材では 4—20, 8—20両処理材とも無処理材より分子量が増加しているが、腐朽による分子量の低下率との間の相関関係は認められなかった。LZT の無処理腐朽材では重量減少率はわずかではあるが、ホロセルロース分子量の低下率が高かった。

(b) アカマツ材における変化：前述したようにアカマツのアルコール・ベンゼン可溶成分は、ブナと異なり PC 処理が苛酷になりはじめて増加する (Fig. 4)。この12—60処理材では白色、褐色両腐朽材とも同成分の著しい減少が認められたが、4—20処理材では褐色腐朽材の同成分の増加がブナ同様大きかった。1% 水酸化ナトリウム可溶成分については、褐色腐朽材においてもブナのような著しい増加は認められなかった。

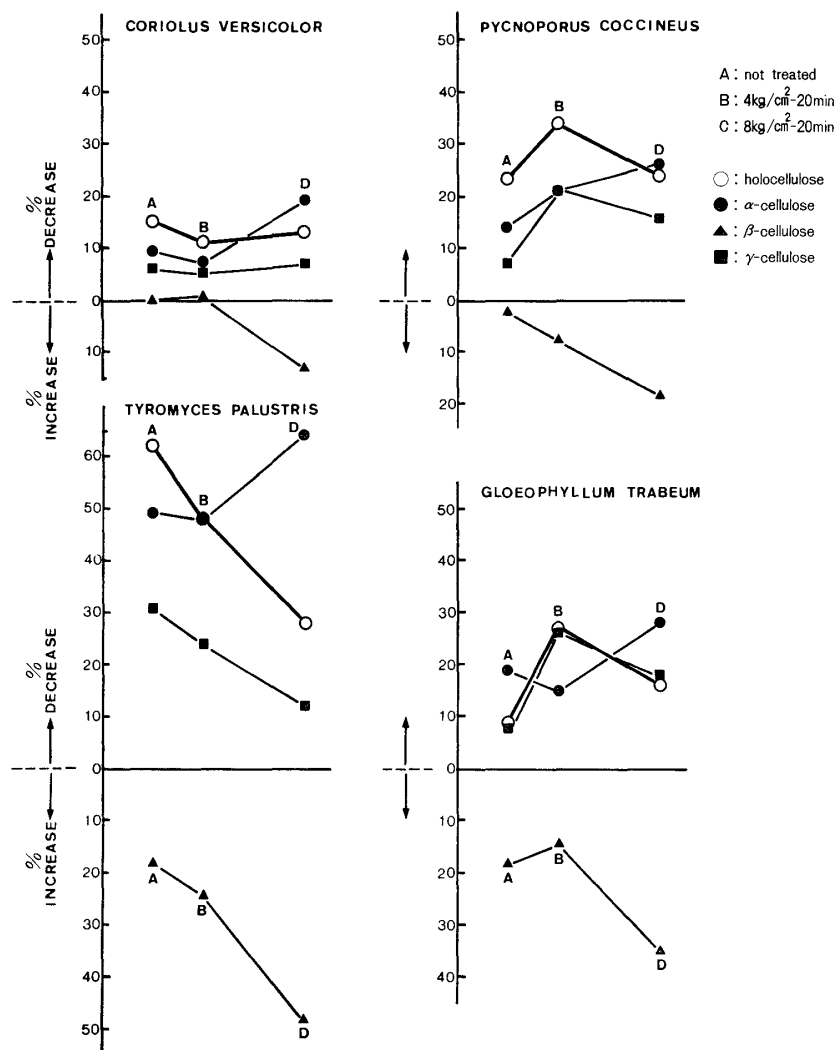


Fig. 16. Changes of cellulose content in PC-treated wood blocks of *Fagus crenata* after 50 days exposure to several decay fungi.

また、ブナ8—20処理白色腐朽材でみられた同成分の著しい減少も認められなかった。リグニンの減少率はブナと異なり、白色腐朽材においてもホロセルロースの減少率を下まわることが多かった。さらに4—20処理材ではすべての腐朽材で10%前後のリグニンの増加があり、硫酸処理によっても加水分解されない何らかの化合物の混入の可能性も考えられたが、本研究では検討しなかった。Fig. 17 に示したように、β-セルロースは褐色腐朽材ではやゝ増加するが全般的に腐朽によってあまり増加せず、8—20処理 COV 腐朽材のように減少する場合や PYC 腐朽材のようにほとんど変化のない場合があった。12—60処理ではブナの8—20処理と同様、どの腐朽材でも α-セルロースの減少率をもっとも高いが、ブナと異なり、γ-セルロースの増加が認められた。また8—20処理 COV 腐朽材では α-セルロースが増加するなど、PC 処理によるホロセルロースの変化と対応して、腐朽材でもブナより複雑な変化を示した。ホロセルロース分子量はいずれの腐朽材においても、PC 処理により分子量が増大する4—20処理材での低下がもっとも大きかった。しかし PC 処理により分子量が低下する8—20処理材では、褐色腐朽材の場合さらに低下する (TYP) か変化がない (LZT) が、白色腐朽材では COV, PYC と増大した。この傾向は PC 処理によりさらに分子量が低下する12—60処理材においても同様であった。

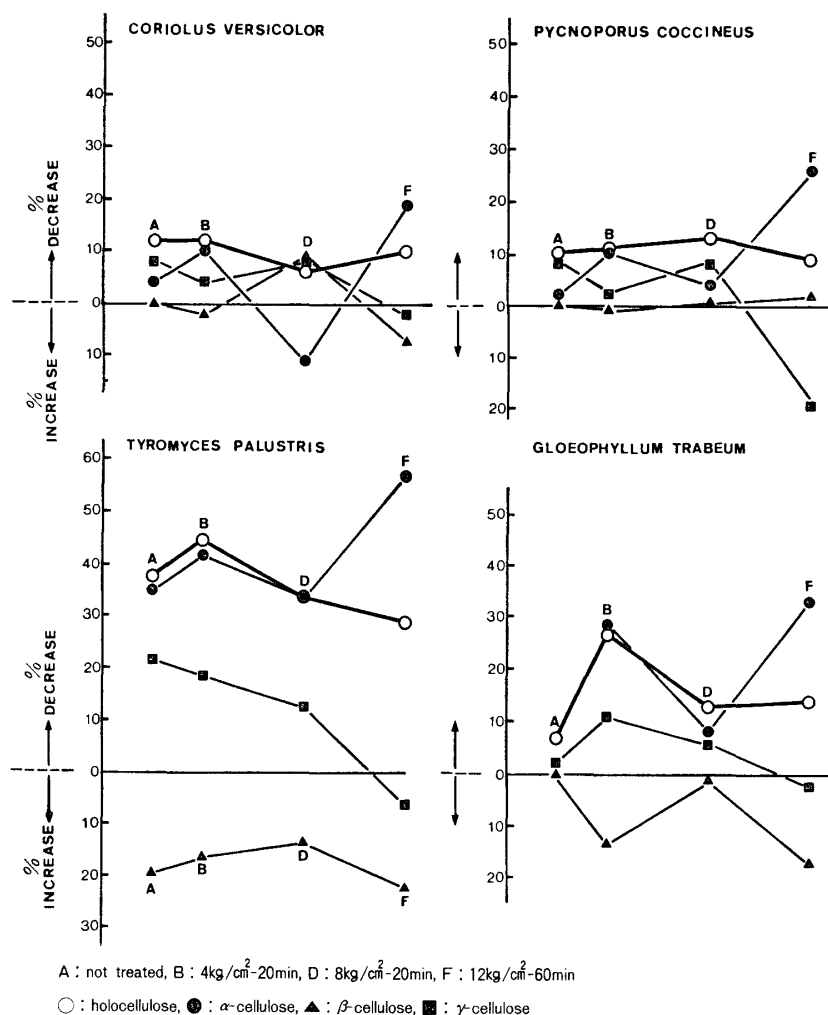


Fig. 17. Changes of cellulose content in PC-treated wood blocks of *Pinus densiflora* after 50 days exposure to several decay fungi.

Table 3. Percent weight loss of PC-treated wood meal and cellulose powder after 50 days exposure to the decay fungi *Gloeophyllum trabeum* and *Pycnoporus coccineus*.

Fungus	PC-treatment kg/cm <sup>2</sup> -min	Wood meal		Cellulose powder
		<i>Fagus crenata</i>	<i>Pinus densiflora</i>	
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	none	42.7	12.8	22.0
	4-20	50.6	73.8	20.7
	8-20	67.1	54.9	25.6
	12-60	53.0	37.2	25.6
<i>Pycnoporus coccineus</i>	none	86.6	29.9	39.0
	4-20	87.8	50.6	20.7
	8-20	91.5	65.9	28.7
	12-60	84.8	54.3	36.0

3.2.3 PC 処理木粉の腐朽：木片で腐朽促進効果の高かった LZT と PYC を用いて、木粉における促進効果を検討した (Table 3)。木粉は無処理試料でも木片よりよく腐朽され、木片に対して腐朽力の低い LZT でもブナ木粉で約 43%，アカマツ木粉で約 13%の重量減少があった。3.2.1 で述べた結果同様、無処理試料でもよく腐朽する場合は PC 処理による腐朽促進効果があまりみられないが (ブナ)、比較的腐朽しにくい場合は軽度の処理段階から促進効果が現われた (アカマツ)。しかしセルロース粉末においてはどの処理段階でも効果が認められなかった。

PC 処理による木材の組織構造変化についてはとくに検討しなかった。しかし各処理試料を走査電子顕微鏡で観察したところ、木材構成要素のすべてに割れ、欠損、はくりがみられ、とくに放射系細胞の破壊が著しかった。また処理が苛酷になるほど組織の破損程度が大きくなった。このような変化は腐朽菌の侵入を容易にし、腐朽促進をもたらすことが当然予想されるが、促進効果は無処理材に対する腐朽力の低いものに現われ、またその促進度合は処理の苛酷化には比例しないことから、処理による化学的および物理的変化の寄与の方がはるかに大きいと考えられる。軽度 ( $4 \text{ kg/cm}^2$ —20分) の PC 処理で現われるこれらの変化は、1%水酸化ナトリウム可溶成分の増加とホロセルロース分子量の増大であり、ヘミセルロースの加水分解と、前述のセルロース非晶領域の結晶化<sup>8)</sup> によるものであろう。木材の爆砕処理によりセルロースの酸加水分解に対するアクセシビリティが増大することが明らかにされた<sup>1)</sup>。これは PC 処理においても十分予想されることであるが、上述したように、セルロース粉末では処理による腐朽促進が認められなかったので、軽度の PC 処理による木材の腐朽促進には、炭水化物の低分子化がもっとも寄与しているものと考えられる。このようなアルカリ可溶成分の増加とホロセルロース分子量の増大は、ブナにおいては中程度 ( $8 \text{ kg/cm}^2$ —20分) の処理でも持続され、引続き LZT と PYC における腐朽促進の原因となっているのであろう。木粉については PC 処理後の化学分析を行っていないので、同様の処理でブナ木粉の腐朽があまり促進されない理由は明確でないが、木粉の場合培地からの養分の供給や、菌糸と基質との接触が容易であるため、耐朽性の低いブナ材の攻撃にはそれ以上の養分の供給を必要としなかったと推察される。 $8 \text{ kg/cm}^2$ —20分処理では、アルカリ可溶成分はブナよりはるかに少ないがアカマツにおいても増加した。この場合ホロセルロース分子量は著しく低下して、セルロース分子の切断が進行していることを示唆しており、これも腐朽促進の原因であろう。より苛酷な  $12 \text{ kg/cm}^2$ —60分処理ではリグニンも減少し、脱リグニンそのものは腐朽作用を容易にするが、同時に起る  $\gamma$ -セルロースの過度の減少はマイナスの効果をもたらす、全体としてはそれ以上の腐朽促進が起らないのであろう。

#### 4. 結 論

残廃材の木材腐朽菌による分解を促進させるための前処理として、醤油原料の発酵促進に利用されている水蒸気加熱膨化処理の効果を検討した。木片に適用した場合その腐朽促進効果はあまり大きくなかったが、木粉の場合は難腐朽性の針葉樹に対して著しい促進効果があり、その効果は軽度の処理 ( $4 \text{ kg/cm}^2$ —20分) によっても現われることがわかった。より大規模な実験による検討を重ね、効率的な集計システムと連続処理装置が開発されれば、残廃材の利用の一環として期待できよう。

#### 文 献

- 1) 東 順一, 越島哲夫: 木材研究・資料, 17, 1 (1983)
- 2) 鈴木岩雄: 木材工業, 37, 562 (1982)
- 3) 森川弘道: 化学と生物, 19, 286 (1981)
- 4) J. H. LORA and M. WAYMAN: Tappi, 61 (6), 47 (1978)
- 5) 西沢嘉彦, 赤尾 剛: 第27回日本木材学会大会 (京都) 研究発表要旨, 68 (1977)
- 6) P. DEBYE: J. Appl. Physics, 15, 338 (1944)
- 7) 戸田久昭: 木材化学, 下, 右田伸彦, 米沢保正, 近藤民雄編, 共立出版, P. 1 (1968)

- 8) M. TANAHASHI, S. TAKADA, T. AOKI, T. GOTO, T. HIGUCHI and S. HANAI : Wood Research, **69**, 36 (1983)
- 9) W. G. CAMPBELL : Wood Chemistry (ed. by L. E. WISE and E. C. JAHN), Reinhold, P. 1061 (1952)
- 10) 香山 彊 : 木材誌, **1**, 161 (1961)
- 11) K. KAWASE : J. Facul. Agr., Hokkaido Univ., **52**, Pt. 2, 186 (1962)